

**ZONIFICACIÓN DE AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES EN EL  
MUNICIPIO DE RIOHACHA, LA GUAJIRA**



**DIEGO EDISON UMAÑA RAMIREZ**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:  
**ESPECIALISTA EN GEOMÁTICA**

Director:  
TATIANA FERREIRA BORDA

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA  
BOGOTÁ, DICIEMBRE 16 DE 2017**

# **ZONIFICACIÓN DE AMENAZA A INCENDIOS FORESTALES EN EL MUNICIPIO DE RIOHACHA, LA GUAJIRA**

## **ZONING OF THREAT TO FOREST FIRES IN THE MUNICIPALITY OF RIOHACHA, LA GUAJIRA**

Diego Edison Umaña Ramírez  
Geógrafo, Aspirante a especialista en Geomática  
Estudiante de posgrado de la UMNG  
Bogotá, Colombia  
deumanar@gmail.com

### **RESUMEN**

Los incendios forestales generan afectaciones sobre componentes ecológicos, económicos y sociales, conduce esto a la necesidad de identificar el nivel de exposición que pueda enfrentar un grupo social o un área determinada. El presente artículo describe el proceso de generación de un mapa con la zonificación de la amenaza a incendios forestales en el municipio de Riohacha, La Guajira. En primer lugar se identificaron las áreas con mayor predisposición a la ocurrencia de este fenómeno a través de la clasificación de las coberturas en tres categorías, tipo de combustible, duración del combustible y carga total del combustible, a partir de las características de la cobertura para cada categoría estas fueron calificadas de muy baja a muy alta, luego se llevó a cabo un proceso de sumatoria de factores para obtener la zonificación de susceptibilidad.

Para la generación del mapa de amenaza además de contar con la información de susceptibilidad fue necesario tener datos de otros seis factores que intervienen en su creación, Precipitación, Temperatura, Pendientes, Factor histórico, Accesibilidad y Vientos, a estos factores también se les asignó una calificación en función de sus características propias, además se determinaron pesos dependiendo de la influencia que tienen en la generación de un incendio, mediante el uso de herramientas de información geográfica se realizó una suma ponderada de los factores y se obtuvo la zonificación que demuestra que gran parte del municipio presenta una alta amenaza.

**Palabras Clave:** Cobertura vegetal, Incendio forestal, Factor, Ponderación, Susceptibilidad, Amenaza, Zonificación.

### **ABSTRACT**

Forest fires generate effects on ecological, economic and social components, this leads to the need to identify the level of exposure that a social group or a specific area may face. This article describes the process of generating a map with the zoning of the threat to forest fires in the municipality of Riohacha, La Guajira. In the first place, the areas with greater predisposition to the

occurrence of this phenomenon were identified through the classification of coverage in three categories, fuel type, fuel duration and total fuel load, based on the characteristics of the coverage for Each category was classified from very low to very high, then a factor summation process was carried out to obtain the susceptibility zoning.

For the generation of the threat map in addition to having the susceptibility information it was necessary to have data of six other factors involved in its creation, Precipitation, Temperature, Slopes, Historical Factor, Accessibility and Winds, these factors were also assigned a In addition, weights were determined depending on the influence they have on the generation of a fire, by means of the use of geographic information tools a weighted sum of the factors was made and the zoning was obtained that shows that part of the municipality presents a high threat.

**Keywords:** Vegetation cover, Forest fire, Factor, weighing, Susceptibility, Threat, Zoning.

## **INTRODUCCIÓN**

Existe gran variedad de amenazas naturales que tienen el potencial de afectar al hombre, sus estructuras y sus actividades. Los incendios forestales hacen parte de ese grupo por lo que es necesario determinar el grado de amenaza y de ese modo minimizar la frecuencia y las afectaciones que puedan generar.

Para el año 2015 Colombia tenía una superficie de bosques de 59.558.064 ha, y dentro de los diferentes factores que influyen en la pérdida de los mismos los incendios forestales afectan un promedio de 42.000 ha. Estas pérdidas en términos económicos para el mismo año fueron de aproximadamente \$476.000 millones de pesos, equivalente a 0,063% del PIB de 2015, [1].

Este es uno de los mayores problemas que enfrentan los ecosistemas, principalmente de las zonas rurales y que producen una serie de efectos negativos dentro de los que se encuentran la erosión del suelo debido a la perdida de la cobertura vegetal, destrucción del hábitat de las especies presentes en la zona, emisión de carbono y otros elementos nocivos a la atmósfera y el deterioro en la calidad del recurso hídrico. El hombre también se ve afectado pues sus bienes e infraestructura de la cual obtiene beneficios pueden llegar a verse comprometidos e incluso su integridad física.

Se hace importante entonces determinar y zonificar el grado de amenaza, en la jurisdicción del municipio para que las autoridades municipales tomen las medidas necesarias para minimizar los daños que estos puedan generar.

## **1 MARCO TEORICO**

### **GENERALIDADES**

Riohacha se encuentra ubicado en la parte central izquierda del Departamento de La Guajira, limita al norte con el Mar Caribe, al oriente con los municipios de

Manaure y Maicao, por el sur con Hatonuevo, Barrancas, Distracción, San Juan del Cesar y por el occidente con el municipio de Dibulla y el mar Caribe.

El municipio tiene una extensión de 308.094 ha de las cuales 111416.37 ha pertenecen a zonas de resguardos indígenas, 29662,32 ha al Parque Nacional Natural Sierra de Santa Marta y 4772 ha al Santuario de Flora y Fauna de los Flamencos.

Está compuesto por un casco urbano (Dividido en 10 Comunas), 14 Corregimientos y 8 Resguardos Indígenas. El promedio de lluvia anual es de 541 mm y la temperatura promedio es de 27.4°C.

## **1.1 INCENDIO DE LA COBERTURA VEGETAL**

El IDEAM lo define como “fuego que se extiende sin control, cuyo combustible principal es la vegetación viva o muerta”, [2].

### **1.2 TIPOS DE INCENDIO**

Dependiendo de las características los incendios se dividen en tres categorías:

#### **1.2.1 Subterráneo**

Se propaga por debajo del suelo quemando las raíces de los árboles y la materia orgánica. Es lento pero peligroso, sale poco humo, no produce llama y puede arder por largos periodos sin ser notada su presencia. “El fuego se inicia en forma superficial, propagándose bajo el suelo mineral debido a la acumulación y compactación de los combustibles, así como por su aglomerado en los afloramientos rocosos en donde se encuentran mantillo, raíces, hojas y otros materiales vegetales”, [3].

#### **1.2.2 Rastrero**

Se presenta al nivel del suelo, destruye plantas, arbustos y árboles pequeños, además afecta la corteza de los árboles adultos. “En este tipo de siniestros el fuego se propaga en forma horizontal sobre la superficie del terreno, afectando combustibles vivos y muertos, compuestos por pastizales, hojas, ramas, ramillas, arbustos o pequeños árboles de regeneración natural o plantación, troncos, humus, entre otros que se encuentran desde la superficie del suelo y hasta 1.5 metros de altura”, [3].

#### **1.2.3 De Copa**

Destruye la copa de los árboles, con la ayuda del viento su propagación es más rápida, generalmente consumen la totalidad de la vegetación y son más destructivos y difíciles de controlar que los anteriores. “Se inician en forma superficial, transformándose en uno de copa o aéreo debido a la continuidad vertical de los combustibles del suelo hacia las copas de los árboles, se presentan con fuertes vientos y en lugares de pendientes muy pronunciadas, por lo que su propagación es tanto de copa en copa de los árboles como en la vegetación superficial, [3].

### 1.3 CAUSAS

Las causas de un incendio forestal son muy variadas, desde aquellas producto de las quemas agrícolas que se salen de control hasta los provocados por colillas de cigarrillo que son arrojadas sin ser apagadas, dependiendo de su origen los incendios se pueden agrupar en dos categorías, los naturales y los antrópicos.

En la primera se encuentran todos aquellos en los que es la propia naturaleza la que incide en su desarrollo, la caída de rayos, las largas temporadas de sequía y las altas temperaturas son un ejemplo de este tipo de causas. Los de origen antrópico son los de más alta tasa de frecuencia ya que aproximadamente el 90% se deben a estas causas, están relacionados con aquellas actividades humanas en las que por descuido, irresponsabilidad o de manera intencional se presentan estos fenómenos, una muestra de esto son las fogatas, las quemas agrícolas para ampliar las áreas de cultivo, los fuegos artificiales o la caída de líneas eléctricas.

### 1.4 AFECTACIONES

Es claro que los incendios forestales destruyen todo a su paso y que las consecuencias pueden ser devastadoras no solo en términos ecológicos, también pueden llegar a serlo desde el punto de vista económico y social. Por eso es de importancia tener claro los efectos sobre algunos componentes y así poder tomar decisiones y buscar soluciones para la reducción o supresión de dichos efectos negativos.

Con la ocurrencia de un incendio la vegetación que se ve más afectada es la que se encuentra en sus primeras etapas de desarrollo y los árboles pequeños, en especies poco resistentes al fuego se puede presentar reducción en su crecimiento y generalmente son los primeros en morir en temporadas de sequía, aquellos que ya alcanzaron su madurez pueden soportar estos fenómenos, aunque su corteza puede verse afectada dejándolos expuestos a enfermedades y plagas.

El agua es otro de los componentes que se ve afectado, según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), [4]: “las cenizas y los carbones producto de la combustión van a parar a las corrientes y cuerpos de agua, tornándose turbias y disminuyendo considerablemente su calidad, evitando ser consumidas por el hombre y los animales” [...].

El efecto inmediato de los incendios sobre el componente aire es la producción y liberación a la atmósfera de gases y partículas que resultan de la quema de biomasa.

Las principales emisiones durante la combustión son: Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el Metano ( $\text{CH}_4$ ), gases de efecto invernadero que pueden contribuir al calentamiento global, el Monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) y los Óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ ), que contribuyen a la producción fotoquímica de Ozono ( $\text{O}_3$ ), un contaminante que puede perjudicial para la salud, el Metano ( $\text{NH}_4$ ), que

genera en la tropósfera ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) y contribuye a la lluvia ácida, y las partículas sólidas (humo, hollín) se difunden por la atmósfera, [5].

Según Vidal [6], “los cambios ocurridos en el suelo con las quemas son la disminución de la retención de humedad, aumento del pH, disminución del calcio (Ca) y el Magnesio (Mg), Sodio (Na) y el Potasio (K) son afectados y aumento considerable del Fosforo (P), el aluminio intercambiable aumenta e incide negativamente en el proceso de fertilización”. Además se ve afectada la población microbiana y se originan cambios en la estructura y textura del suelo y se expone a la erosión.

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) generado por los incendios forestales, es un gas de efecto invernadero y contribuye al cambio climático, que representa una gran amenaza para el planeta, con consecuencias físicas, sociales y económicas para la humanidad.

En la segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el inventario de gases de efecto invernadero del año 2000 en Colombia indica que, la agricultura aporta 61.80 y 68.79 de CO<sub>2</sub> equivalente de Gg., por quema de sabanas y quemas de residuos agrícolas respectivamente, [7].

Además de los daños ambientales descritos anteriormente, el hombre también se enfrenta a perjuicios en diferentes aspectos. La presencia de incendios cerca a las comunidades puede causar la pérdida o avería de viviendas, maquinaria, equipos, infraestructura, cultivos, animales domésticos etc., también se pueden ver afectado el desarrollo de actividades económicas como las agrícolas, ganaderas y las turísticas. En conclusión todas estas implicaciones van en contra del bienestar y la calidad de vida de la población, limitando sus posibilidades de desarrollo y comprometiendo el de las futuras generaciones.

## **1.5 GESTIÓN DEL RIESGO**

Es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible<sup>1</sup>.

### **1.5.1 Susceptibilidad**

Puede definirse como la facilidad con la que un fenómeno natural, (incendio), logra presentarse en un área determinada dependiendo de las características particulares que pose dicho fenómeno, en este caso está referido a las particularidades de la vegetación.

---

<sup>1</sup> Ley 1523 de 2012, Capítulo I, Artículo 4. Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.

### **1.5.2 Amenaza**

“Peligro latente que representa la posible manifestación de un fenómeno particular (en este caso, un incendio de la cobertura vegetal), de origen natural, socio-natural o antropogénico, en un territorio particular, que puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios y el ambiente”, [2].

## **1.6 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

Con base a las definiciones que se han sido desarrolladas a lo largo del tiempo por distintos autores los sistemas de información geográfica, SIG, pueden ser definidos como la unión entre software y hardware que conjuntamente crean correlación para que los usuarios puedan capturar, almacenar, manipular y graficar información de objetos específicos, cuyo principal objetivo sea dar soluciones a diversas problemáticas. Los SIG se han ido desarrollando de una forma rápida y variada con una constante evolución que hace que la información geográfica vaya ampliando su campo de acción y las opciones tecnológicas que permitan acceso a la información desde diferentes plataformas.

La información utilizada en los SIG puede ser almacenada en diferentes software encargados del procesamiento de los datos, estos datos puede ser representados por medio de puntos, líneas y polígonos que de manera individual o en un conjunto generan una representación de la realidad.

### **1.61 Evaluación multicriterio**

La Evaluación MultiCriterio (EMC) se puede definir como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones. El objetivo principal de las técnicas de EMC es “investigar un número de alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflictos” [8]. A partir de esto es posible desarrollar múltiples soluciones que den respuesta a una problemática en particular.

La toma de decisiones multicriterio se puede entender como un “mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para auxiliar a los centros decidores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, en base a una evaluación (expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia) de acuerdo a varios criterios”, [9].

### **1.6.2 Normalización**

Este proceso se realiza debido a las diferencias existentes entre las variables que intervienen en la zonificación y consiste en ajustar los valores medidos en diferentes escalas respecto a una escala común para que puedan ser correlacionados.

### **1.6.3 Ponderación**

Después que las variables han sido normalizadas deben ser ponderadas partiendo del hecho que no todas tienen la misma importancia, por este motivo es necesario asignar valores o pesos a cada una de ellas lo que hará que algunas incidan en mayor o menor medida en el resultado final de la ecuación.

En este caso y siguiendo lineamientos del Protocolo para la Realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la cobertura Vegetal desarrollado por el IDEAM, el método aplicado es el de Jerarquías Analíticas de Saaty (Analytical Hierarchy Process, AHP) que “parte de establecer una matriz cuadrada en la cual el número de filas y columnas está definido por el número de factores a ponderar, así se establece una matriz de comparación entre pares de factores, comparando la importancia de uno sobre cada uno de los demás”, [10].

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

En este trabajo se hace uso de los sistemas de Información Geográfica como herramienta principal en el proceso de generación del mapa de riesgo de incendios forestales. En la elaboración se llevaron a cabo procedimientos de normalización y ponderación de las variables, se tuvo en cuenta la evaluación multicriterio (EMC) además de la ejecución de herramientas y procesos específicos del software para la obtención de las capas temáticas que hacen parte de los insumos requeridos para este tipo de análisis.

A continuación se explicará la metodología utilizada para la generación de información en cada una de las etapas previas a la generación del mapa de amenaza.

### **2.1 SUSCEPTIBILIDAD**

Para la evaluación de la susceptibilidad de la cobertura vegetal, que se refiere al análisis de la “condición pirogénica de la vegetación que determina sus características y comportamiento frente a la ocurrencia de un incendio” [11]; la vegetación fue clasificada desde tres factores principales: tipo de combustible, duración del combustible y carga total del combustible, los cuales sumados dan como resultado la susceptibilidad total de la vegetación a incendios.

Esta información se obtuvo a partir de la capa de Coberturas de la tierra en la que a cada tipo dependiendo de sus características le fueron asignados valores entre uno y cinco, que representan el nivel de susceptibilidad de esa cobertura con respecto al factor analizado (Tabla 1), este proceso se hizo para cada uno de los tres factores.



**Tabla 1.** Calificación y categorización de las coberturas de la tierra.

FACTOR	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD	CALIFICACIÓN
Cobertura 1	Muy baja	1
Cobertura 2	Baja	2
Cobertura 3	Media	3
Cobertura 4	Alta	4
Cobertura n	Muy alta	5

**Fuente:** Elaboración propia

Una vez se asignaron las calificaciones y se generaron los mapas en formato raster de tipo, duración y carga de combustibles, se procedió a la suma de cada uno de ellos (álgebra de mapas) "(1)"; el resultado obtenido se agrupó posteriormente en 5 categorías mediante una distribución de frecuencias y a cada grupo se le asignó una calificación con los mismos valores que se utilizaron para calificar los factores individualmente y de esta manera se obtiene el mapa de susceptibilidad total (Tabla 2).

$$SUSC = CAL(tc) + CAL(dc) + CAL(ct) \quad (1)$$

Donde:

SUSC: Susceptibilidad de la vegetación (susceptibilidad total)

CAL(tc): Calificación por tipo de combustible

CAL(dc): Calificación de la duración de los combustibles

CAL(ct): Calificación de la carga total de combustibles

**Tabla 2.** Calificación y categorización de la susceptibilidad total.

CALIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD	CALIFICACIÓN
Muy baja	1
Baja	2
Media	3
Alta	4
Muy alta	5

**Fuente:** IDEAM, 2011, [2].

## 2.2 AMENAZA

Las amenazas son aquellos escenarios medioambientales que representan peligro y no pueden ser controlados por el hombre. Para llevar a cabo la evaluación se realizó la calificación y categorización de una serie de factores que influyen en mayor o menor medida en la probabilidad de ocurrencia de un incendio forestal.

Para la elaboración del mapa de amenaza los factores tenidos en cuenta fueron: Susceptibilidad total, Precipitación, Temperatura, Pendientes, Frecuencia de eventos, Accesibilidad y Vientos.

La información de susceptibilidad corresponde a la generada en el punto anterior y se realizó con base a la información de la cobertura de la tierra.

El factor de precipitación se obtuvo a partir de la información de las estaciones meteorológicas localizadas dentro y fuera de la jurisdicción municipal, los datos utilizados corresponden a la precipitación media anual multianual. Con estos valores se procedió a realizar la interpolación, un método que predice valores para las celdas de un ráster a partir de una cantidad limitada de puntos de muestreo y se utiliza para predecir los valores de cualquier dato de un punto determinado, tales como: elevación, precipitación, niveles de ruido, etc.

El método aplicado en este trabajo fue el IDW, (Inverse Distance Weighted), distancia inversa ponderada, que se sustenta en la idea que entre más cerca está un punto del centro de la celda que se está estimando, más influencia o peso tendrá en el proceso de cálculo del promedio y disminuirá a medida que la distancia aumenta.

Como resultado se obtuvo una capa con la distribución de la precipitación. La Tabla 3 indica la categoría de amenaza y su calificación con respecto a los valores de precipitación media multianual.

**Tabla 3.** Calificación y categorización de la precipitación.

<b>PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)</b>	<b>CATEGORÍA DE AMENAZA</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>
> 7000	Muy baja	1
3000 – 7000	Baja	2
2000 – 3000	Media	3
1000 - 2000	Alta	4
0 - 1000	Muy alta	5

**Fuente:** CAR, 2014, [11].

Debido a la falta de datos meteorológicos la información del factor temperatura se obtuvo por medio del gradiente térmico; en él, la disminución de la temperatura está dada por la cantidad de metros ascendidos, en promedio la variación oscila entre 0.5 y 0.7°C por cada 100m de ascenso.

La Tabla 4 relaciona los rangos de temperatura con su respectiva calificación.

**Tabla 4.** Calificación y categorización de la temperatura.

<b>TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°c)</b>	<b>CATEGORÍA DE AMENAZA</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>
< 6	Muy baja	1
6 - 12	Baja	2
12 – 18	Media	3
18 – 24	Alta	4
>24	Muy alta	5

**Fuente:** CAR, 2014, [11]

La pendiente se obtuvo a partir de un modelo digital de elevación (DEM) de 12m, el software ArcGis proporciona una herramienta en la que a partir del

DEM se genera una nueva capa con rango de pendientes que pueden ser presentadas en grados o porcentajes (Tabla 5).

**Tabla 5.** Calificación y categorización de la pendiente.

PENDIENTE %	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
0 – 7	Muy baja	1
7 - 12	Baja	2
12 – 25	Media	3
25 – 75	Alta	4
> 75	Muy alta	5

**Fuente:** IDEAM, 2011, [2].

Al no contar con un registro histórico de incendios ocurridos en el área de estudio los datos de Frecuencia de eventos fueron obtenidos a partir de la información que proporciona la NASA de su sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), que viaja a bordo del satélite Terra y que "ve" las radiaciones infrarrojas emitidas por los incendios en la superficie del planeta.

Los datos que proporciona el sensor presentan niveles de confianza, es decir la certeza que la información sea verdadera, en este trabajo se seleccionaron aquellos con niveles superiores al 85%. Con estos puntos se procedió a calcular la densidad para generar la capa temática.

El factor de Accesibilidad fue generado a partir de la capa vial del municipio, a las vías principales y secundarias se les determinó áreas de influencia de 500m (buffer), desde los 500m a más de 2000m, en la que la influencia disminuye a medida que se aleja de la vía (Tabla 6).

**Tabla 6.** Calificación y categorización de la accesibilidad.

DISTANCIA A LA VÍA (m)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
> 2000	Muy baja	1
1500 – 2000	Baja	2
1000 – 1500	Media	3
500 – 1000	Alta	4
0 – 500	Muy alta	5

**Fuente:** IDEAM, 2011, [2]

El factor de Vientos se genera siguiendo los mismos lineamientos que en los dos primeros factores, en este caso la información ya procesada se obtuvo del Atlas Ambiental de La Guajira. En la Tabla 7 se observa la relación entre la velocidad media y la calificación y categorización.

**Tabla 7.** Calificación y categorización de los vientos.

VELOCIDAD MEDIA (m/s)	CATEGORÍA DE AMENAZA	CALIFICACIÓN
< 2,0	Muy baja	1
2,0 – 3,0	Baja	2
3,0 – 4,0	Media	3
4,0 – 5,0	Alta	4
> 5,0	Muy alta	5

**Fuente:** CAR, 2014, [11]

Después de haber obtenido la información de cada uno de los factores se procedió a la generación del mapa de amenaza total. Mediante el proceso de álgebra de mapas se hizo una suma ponderada de todos los factores con los pesos que le fueron asignados a cada uno dependiendo del grado de influencia en la generación del incendio "(2)".

$$\begin{aligned} \text{Amenaza} = & \text{susceptibilidad de la vegetación } X (0,19) \\ & + \text{precipitación } X (0,22) + \text{temperatura } X (0,22) \\ & + \text{pendientes } X (0,07) + \text{frecuencia } X (0,10) \\ & + \text{accesibilidad } x (0,10) + \text{vientos } x (0,10) \end{aligned} \quad (2)$$

Una vez realizada la respectiva suma ponderada, se procede a realizar una distribución de frecuencias en 5 rangos para así llegar a categorizar y calificar el grado total de amenaza, (Tabla 8).

**Tabla 8.** Calificación y categorización de la amenaza.

CALIFICACIÓN	CATEGORÍA DE AMENAZA
1	Muy baja
2	Baja
3	Media
4	Alta
5	Muy alta

**Fuente:** Elaboración propia

### 3 RESULTADOS

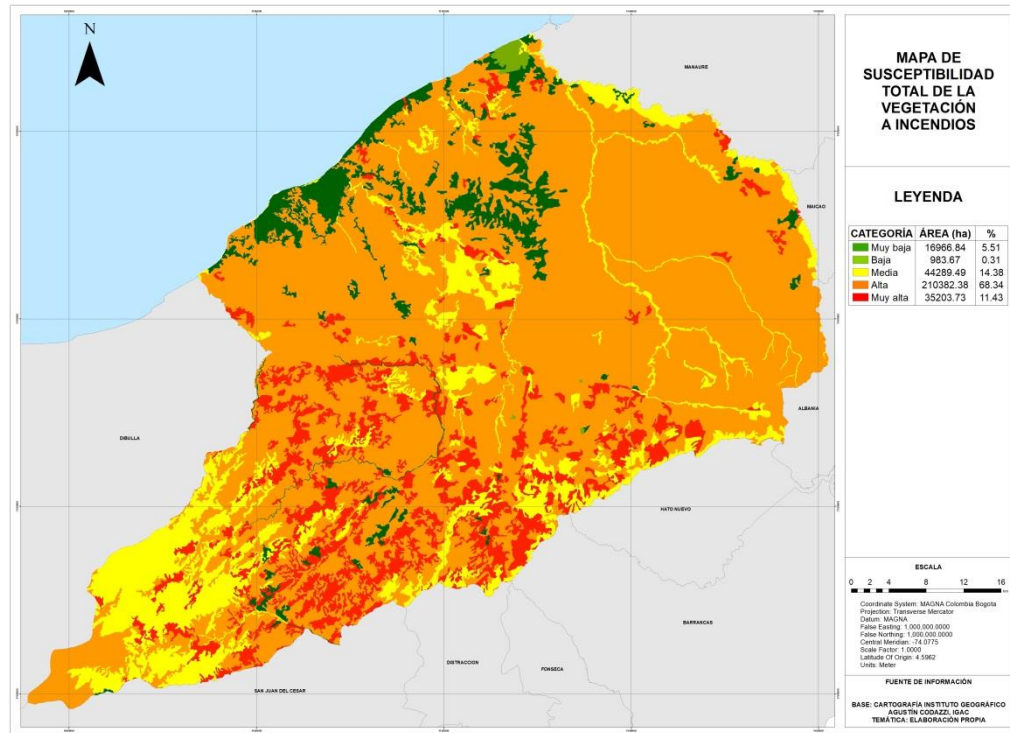
#### Susceptibilidad

Mediante la identificación y valoración de la condición pirogénica de la vegetación dada por los factores de Tipo de combustible, Duración del tipo de combustible y Carga total de combustibles, se generó la información básica de susceptibilidad para cada uno de ellos.

Luego de un proceso de sumatoria y normalización de las anteriores variables se obtuvo el mapa de susceptibilidad de la vegetación, (Figura 1).

El municipio presenta una alta predisposición a la ocurrencia del fenómeno con un 68.34% de su territorio en estas condiciones, seguido de áreas con media

(14.38%) y muy alta susceptibilidad (11.43%), en último renglón se encuentran las áreas con categorías baja y muy baja que ocupan tan solo el 5.82% del territorio. Esto indica que en el 79.77% del municipio se presentan las condiciones necesarias para el desarrollo de estos fenómenos.

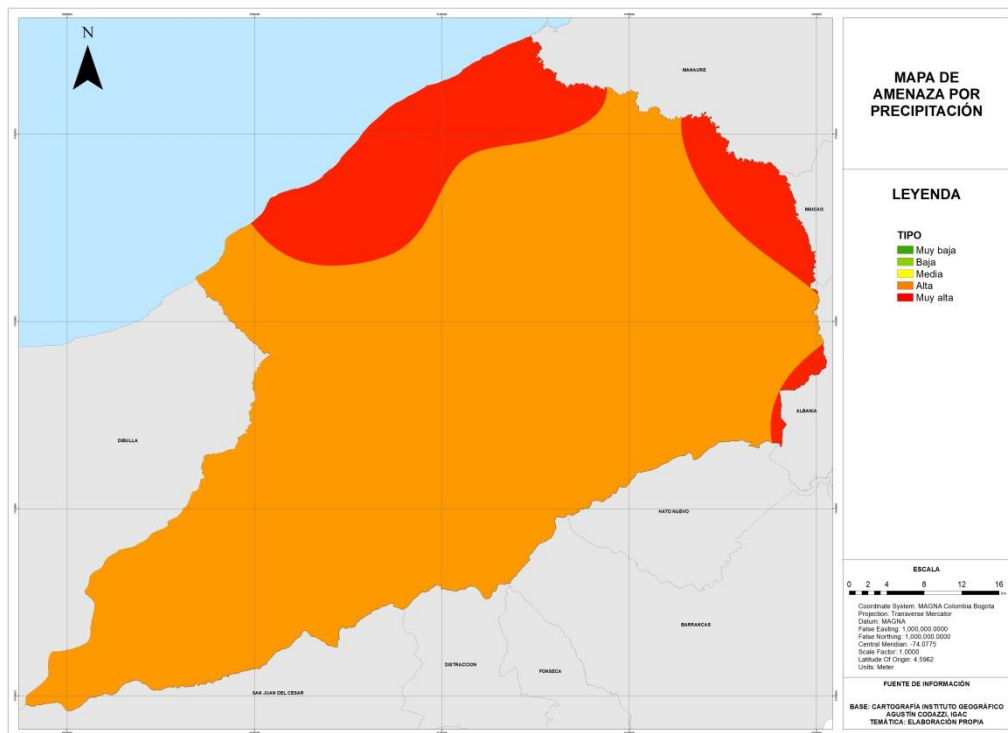


**Fig. 1.** Mapa de susceptibilidad de la cobertura vegetal.  
**Fuente:** Elaboración propia.

## Amenaza

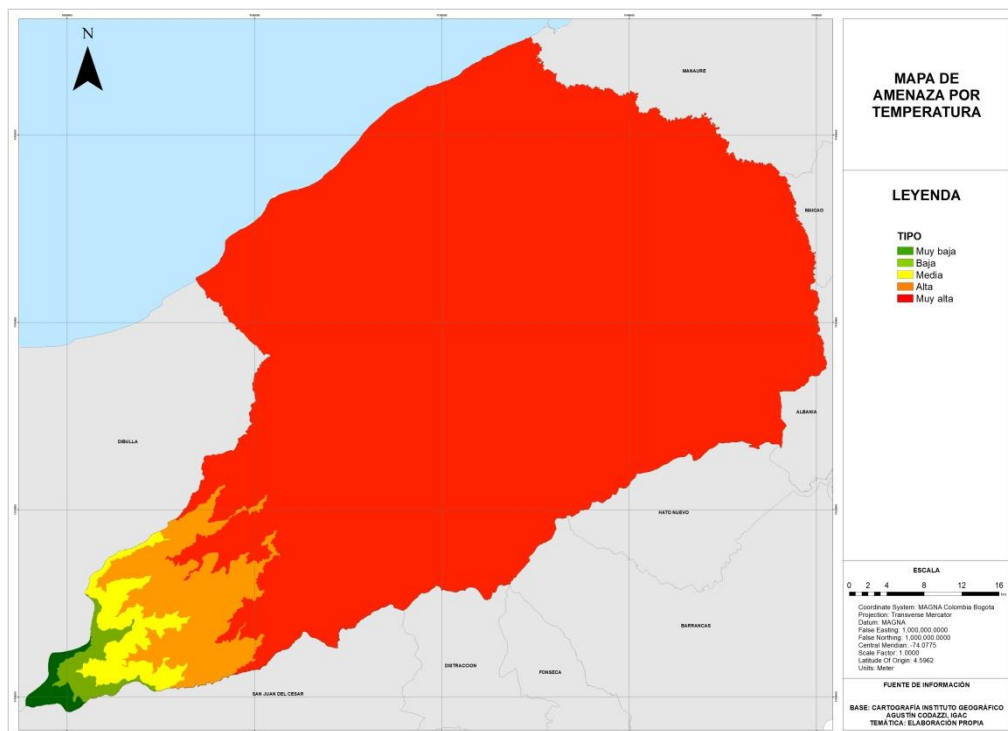
Después de generar la zonificación de susceptibilidad el paso siguiente fue obtener la amenaza para las variables que se mencionaron anteriormente, en las siguientes figuras se puede observar cada una de ellas de manera independiente y luego el resultado de la ponderación que se realizó.

Para el factor precipitación se obtuvo únicamente dos rangos, pertenecientes a las categorías alta y muy alta, debido en primer lugar a la falta de información en algunas zonas del área de estudio, especialmente hacia el sur y suroccidente donde fue necesario utilizar datos de estaciones de municipios vecinos que además se encuentran distantes lo que provoca cambios en el resultado final, y segundo a la poca variación en los promedios de lluvia registrados por las estaciones, el valor mínimo fue de 692.71mm y el mayor de 1543.60mm, estos valores obtenidos pertenecen a los rangos de mayor amenaza, (Figura 2).



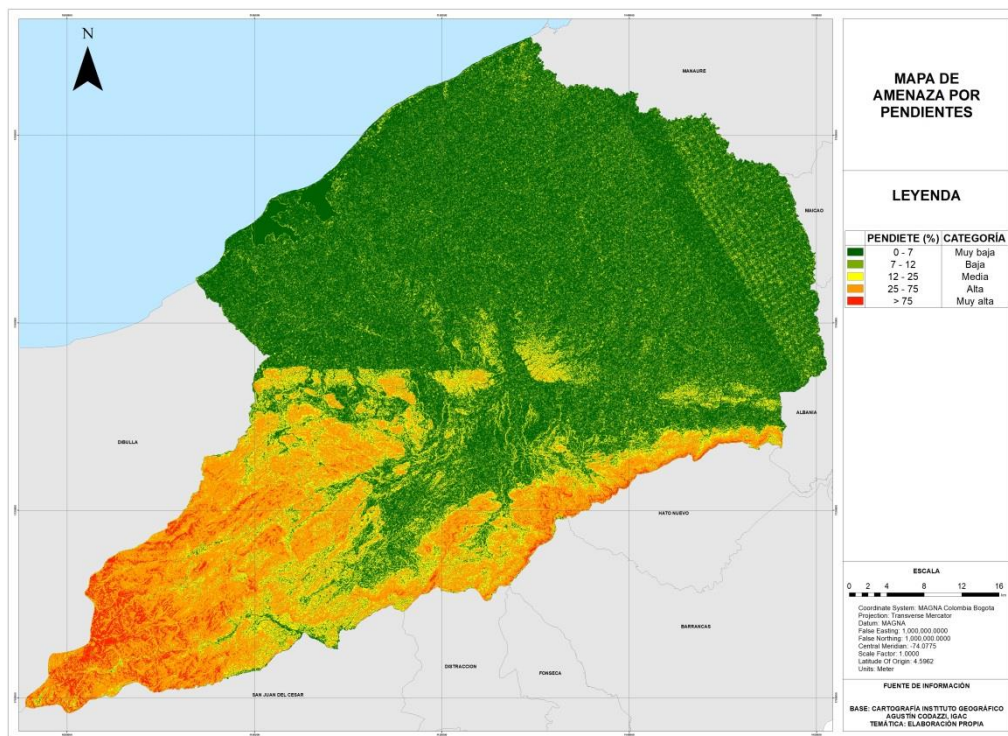
**Fig. 2.** Mapa de amenaza por precipitación.  
**Fuente:** Elaboración propia.

De acuerdo con el método aplicado para la generación de la amenaza por temperatura el 90% del territorio presenta temperaturas entre 24°C y 28°C que lo ubican dentro de la categoría muy alta para este factor. A medida que se transita hacia la sierra nevada la temperatura disminuye y por consiguiente la calificación y categoría de la amenaza, (Figura 3).



**Fig. 3.** Mapa de amenaza por temperatura.  
**Fuente:** Elaboración propia.

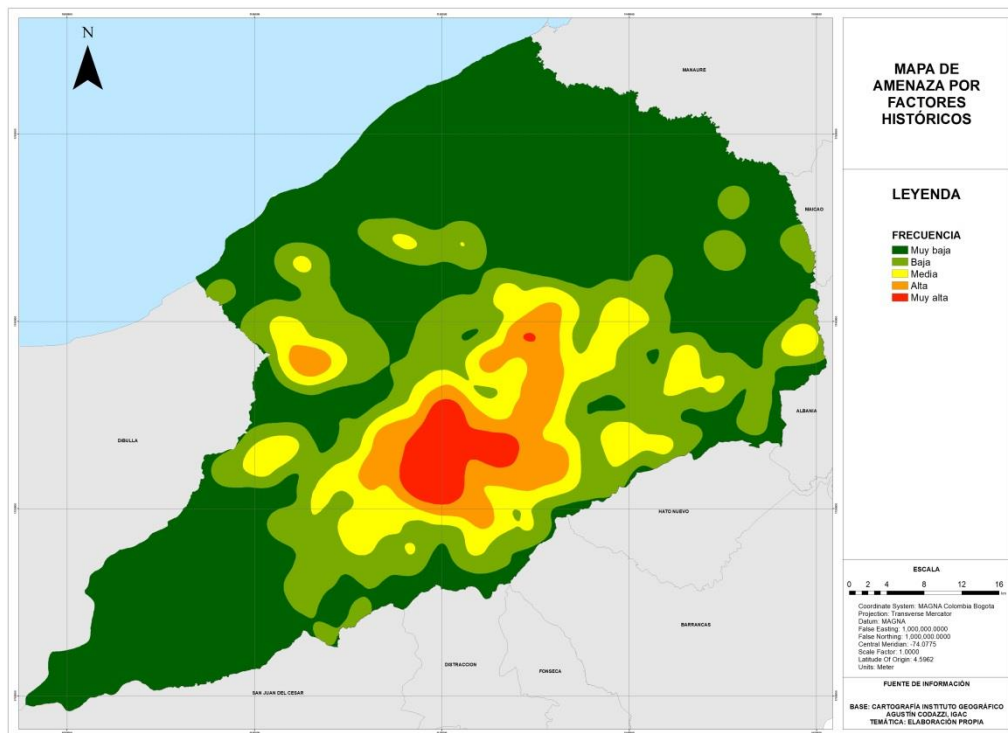
Teniendo en cuenta que a mayor pendiente se favorece la propagación del fuego debido a la facilidad con que se extiende dentro de las coberturas se diferencian en el municipio dos grandes áreas correspondientes a las categorías de muy baja y muy alta amenaza, (Figura 4).



**Fig. 4.** Mapa de amenaza por pendientes.  
**Fuente:** Elaboración propia.

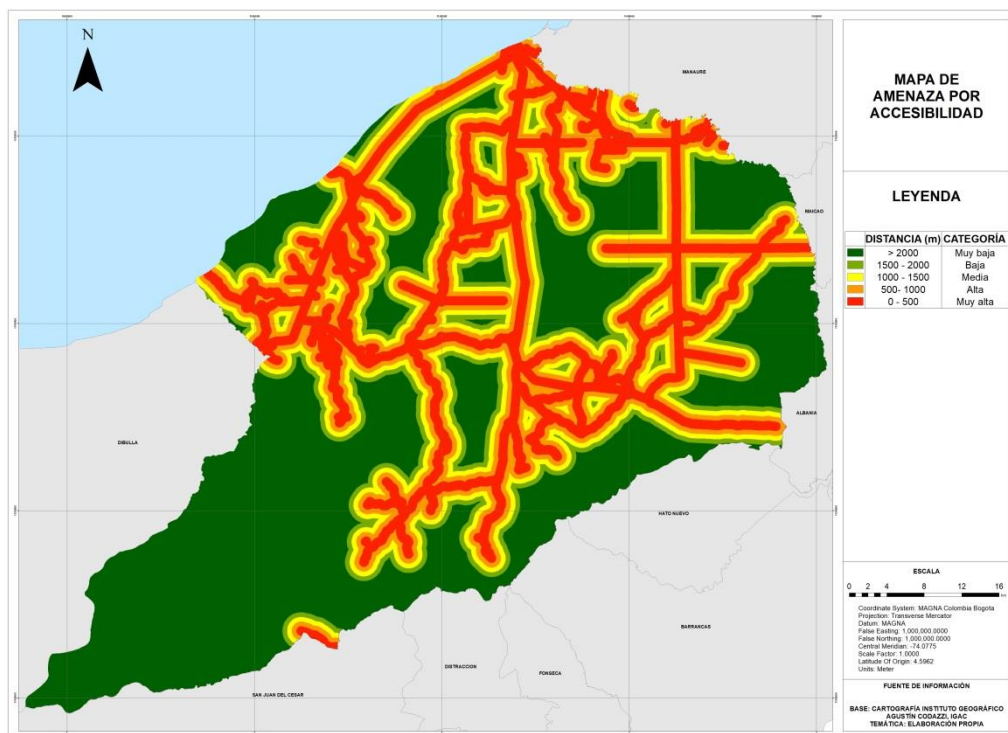
El mapa de amenaza por factores históricos, (Figura 5), indica que la mayor parte de los incendios se presentan en la parte sur y central del municipio, de 716 eventos registrados desde febrero de 2001 hasta agosto de 2017, el 45 % (324) se presentaron en estas zonas.





**Fig. 5.** Mapa de amenaza por factores históricos.  
**Fuente:** Elaboración propia.

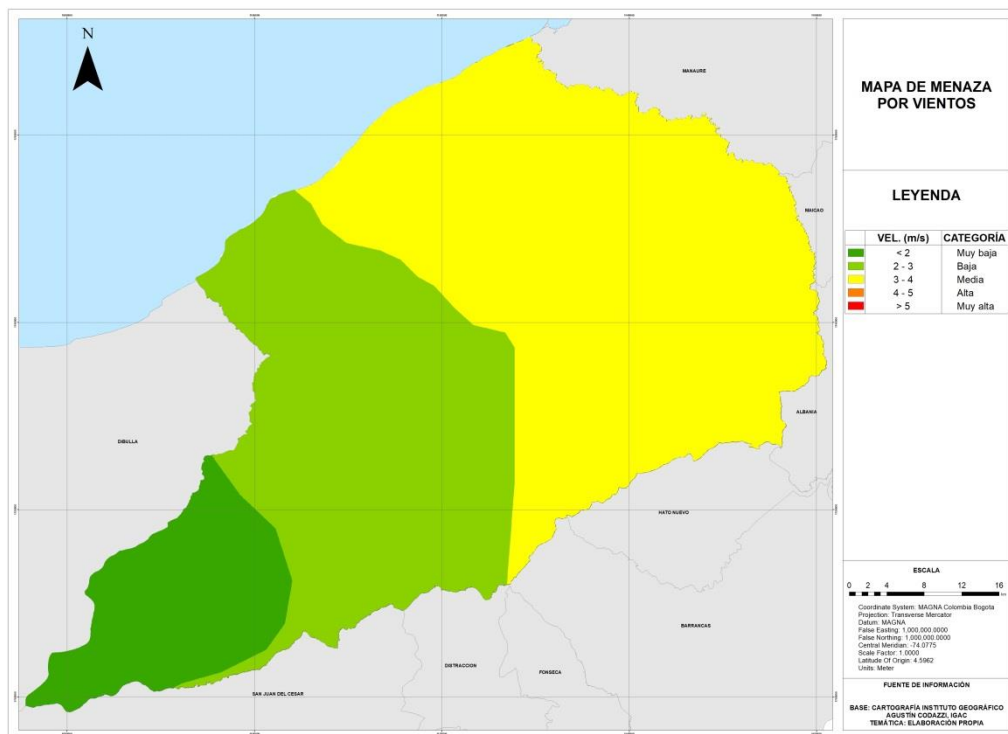
La accesibilidad en este caso es expresada como la facilidad con que la población puede acceder a un lugar determinado y generar focos de incendio, dicho lugar entre más cercano se encuentre de una vía presentará un nivel de amenaza mayor que aquellos en los que el acceso es más difícil, (Figura 6).



**Fig. 6.** Mapa de amenaza por accesibilidad.  
**Fuente:** Elaboración propia.



El viento es un factor que se debe tener en cuenta en la propagación de los incendios ya que su velocidad y dirección incidirá en el desarrollo del mismo e incluso en el tiempo que lleve a los organismos de socorro poder controlarlo. Para el municipio se obtuvo tres categorías pertenecientes a los niveles más bajos e intermedio por lo que en este caso se esperaría que su incidencia no juegue un papel de mayor relevancia, (Figura 7).

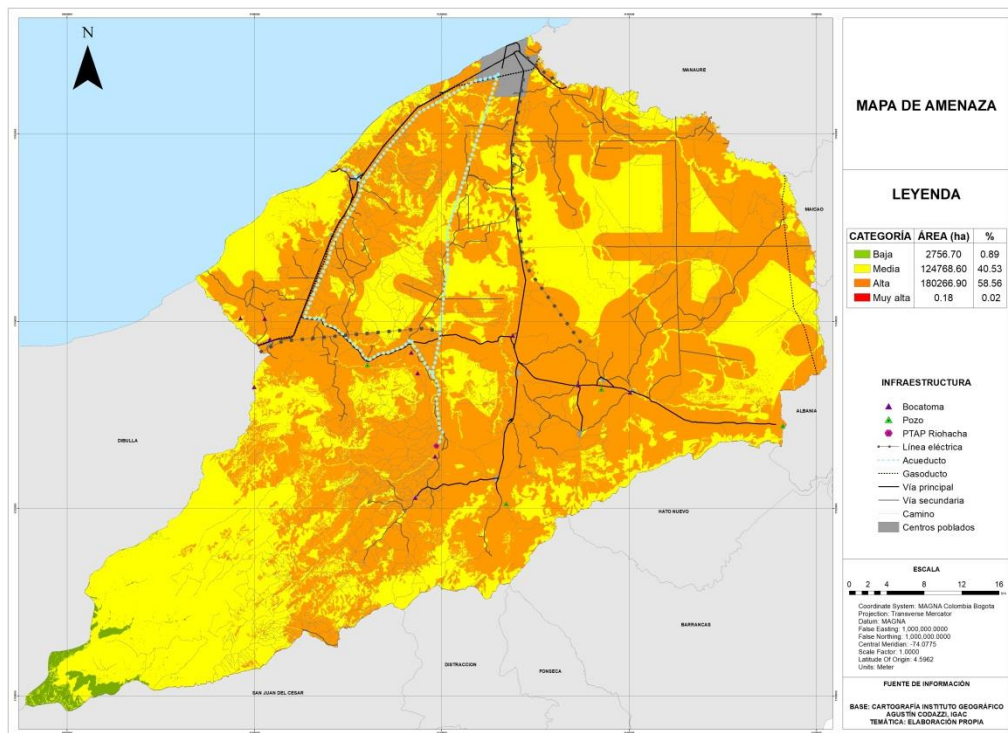


**Fig. 7.** Mapa de amenaza por vientos.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Después de generar la información de susceptibilidad total y amenaza para cada factor se procedió a realizar la suma ponderada y generación del mapa de amenaza por incendios forestales, (Figura 8).

Para el municipio los principales niveles de amenaza corresponden a las categorías media (40.53%) y alta (58.56%), Se presenta también una pequeña área de categoría baja (0.89% del territorio). En las áreas que corresponden a la categoría media hay una muy baja presencia de centros poblados o de infraestructura que pudiera verse afectada, por otra parte en las áreas con amenaza alta está ubicada la mayoría de la población y es atravesada por redes eléctricas, acueductos y gasoductos además de otras obras de infraestructura como bocatomas, pozos de agua y plantas de tratamiento de agua potable.

Las áreas con baja amenaza son aquellas donde los valores de los factores más importantes corresponden a las categorías de menor amenaza y pertenecen a las zonas de páramo existentes en el municipio.



**Fig. 8.** Mapa de amenaza a incendios forestales.  
**Fuente:** Elaboración propia.

## DISCUSIÓN

La zonificación de la susceptibilidad mostro que en el municipio se presenta una alta predisposición a la ocurrencia de incendios forestales, a partir de este resultado fue posible pronosticar cual podría ser la categoría que predominaría al momento de evaluar la amenaza debido a que este factor es uno a los que mayor importancia le fue asignada.

Las fuentes de información adquieren gran importancia al momento de realizar el proceso de zonificación, pues de su confiabilidad dependerá la calidad de los resultados obtenidos, en este trabajo los datos para generar la información de precipitación y temperatura no fueron óptimos. Debido a la falta de suficientes estaciones meteorológicas los datos obtenidos para estos dos factores se hizo a través de estaciones vecinas, en el caso de la precipitación, y por medio de otros métodos en el caso de la temperatura. Todo lo contrario ocurrió con la información de pendientes, factor histórico, accesibilidad y vientos fue levantada a partir de datos confiables.

Es importante mencionar que la metodología utilizada en este trabajo puede ser aplicada en otros escenarios, involucrando nuevos factores que permitan enriquecer los resultados obtenidos.

El alcance de este trabajo es calificar la amenaza a incendios forestales, es necesario entonces avanzar en la zonificación de la vulnerabilidad total para luego combinarla con la amenaza y determinar los niveles de riesgo a incendios forestales.

Realizar campañas de prevención para que las personas adopten medidas que contribuyan a evitar incendios forestales en sus territorios y mantener un monitoreo constante en las áreas de mayor amenaza son tareas de vital importancia para reducir ya sea la probabilidad de ocurrencia o los efectos desfavorables en las comunidades, cultivos, infraestructura, bienes y medio ambiente cuando se presente este fenómeno.

La Geomática y las diversas herramientas que ofrece juegan un papel importante cuando se desarrollan trabajos de estas características puesto que se generan modelos y proyecciones que servirán de apoyo en estudios de planificación y gestión territorial.

## **CONCLUSIONES**

Las coberturas vegetales presentes en el municipio categorizadas en función de cada uno de los factores, (Tipo de combustible, Duración del tipo de combustible y Carga total de combustibles), indican que presentan las condiciones necesarias para la generación, propagación y prolongada duración de un incendio.

La zonificación de la susceptibilidad indica que existe una alta probabilidad de ocurrencia de incendios en jurisdicción del municipio ya que el 68% del territorio, (210382.28 ha), hace parte de esta categoría.

Los resultados de la zonificación de la amenaza señalan que el peligro frente a la ocurrencia de un incendio está dentro de las categorías media, con un 40.53 %, y alta, con 58.56 % del territorio, implica esto que se debe prestar especial atención al fenómeno para implementar medidas que contrarresten los efectos negativos.

La mayor parte de los centros poblados e infraestructura del municipio están localizados en áreas con la categoría de amenaza más alta, demuestra esto que cualquier incendio será potencialmente peligroso tanto para las comunidades como para las instalaciones y servicios prestados por estas. Se podrían ver afectados el suministro de energía, gas o agua potable.

La primer limitante de trabajos de este tipo radica en la obtención de datos de calidad, como se mencionó anteriormente hubo dificultades para acceder a algunos de ellos. Para mejorar los resultados lo ideal sería trabajar con datos e información levantados a escala grande o detallada.

Determinar la susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo asociados a los incendios forestales es de gran importancia, ya que este es uno de los fenómenos de mayor perturbación y que más daños causan a los ecosistemas, comunidades, bienes e infraestructura, todo esto se traduce en pérdidas económicas que van en contravía del bienestar social y por tal motivo debe ser atendida con el mayor interés por parte de las administraciones locales y organismos de socorro con el fin de reducir sus impactos.

## REFERENCIAS

- [1] R. Dinero, ¿Cuál es el costo de los incendios forestales para el país?, *Revista Dinero*, 2 Febrero 2016.
- [2] IDEAM, Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000, Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM., Bogotá, 2011.
- [3] H. R. A. Vargas, Sistema Nacional para la prevención y control de incendios forestales, Ciudad de Guatemala, 2007.
- [4] M. D. M. AMBIENTE, Curso Regional para Formación de Brigadistas contra Incendios Forestales, Bogotá, 1998.
- [5] R. V. MUÑOZ, Emisiones de los incendios forestales a la atmósfera, de *La Defensa Contra Incendios Forestales: Fundamentos y Experiencias*, Madrid, Mc Graw Hill, 2000, p. 800.
- [6] Vidal, Aspectos sinecológicos de pastizales en una region de los llanos y su relación con las quemas, Universidad Nacional de Colombia, Biología, Bogotá, colombia, 1986.
- [7] MADS, Estrategia de corresponsabilidad social en la lucha contra los incendios forestales, Bogotá, 2011.
- [8] P. R. Ron Janssen, Multicriteria analysis and geographical information systems: an application to agricultural land use in the Netherlands, *Geographical information systems for urban and regional planning*, vol. 17, pp. 129 - 139, 1990. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-1677-2\\_12](https://doi.org/10.1007/978-94-017-1677-2_12)
- [9] C. D. B. Gerard colson, Models and methods in multiple objectives decision making., *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 12, nº 10 - 11, pp. 1201 - 1211, 1989. <https://doi.org/10.1016/c2009-0-14792-x>
- [10] G. B. T. Hurtado, El proceso de análisis jerarquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Matemáticas, Lima, Perú, 2005.
- [11] C. IDEAM, Memoria técnica Mapa de zonificación del riesgo a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000, Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM, Bogotá, 2014.